

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
31. Mai 2001 (31.05.2001)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 01/39282 A2

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: H01L 33/00

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE00/04089

(22) Internationales Anmeldedatum:
20. November 2000 (20.11.2000)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
199 55 747.0 19. November 1999 (19.11.1999) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von
US): OSRAM OPTO SEMICONDUCTORS GMBH &
CO. OHG [DE/DE]; Wernerwerkstrasse 22, 93049 Re-
gensburg (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): HÄRLE, Volker
[DE/DE]; Eichenstrasse 35, 93164 Laaber (DE). HAHN,
Berthold [DE/DE]; Am Pfannenstiel 2, 93155 Hemau
(DE). LUGAUER, Hans-Jürgen [DE/DE]; Tannenweg
14, 93173 Wenzenbach (DE). BOLAY, Helmut [DE/DE];
Blumenstrasse 36, 93186 Pettendorf (DE). BADER,
Stefan [DE/DE]; Deutschherrnweg 2, 93053 Regensburg
(DE).

(74) Anwalt: EPPING HERMANN & FISCHER GBR;
Postfach 12 10 26, 80034 München (DE).

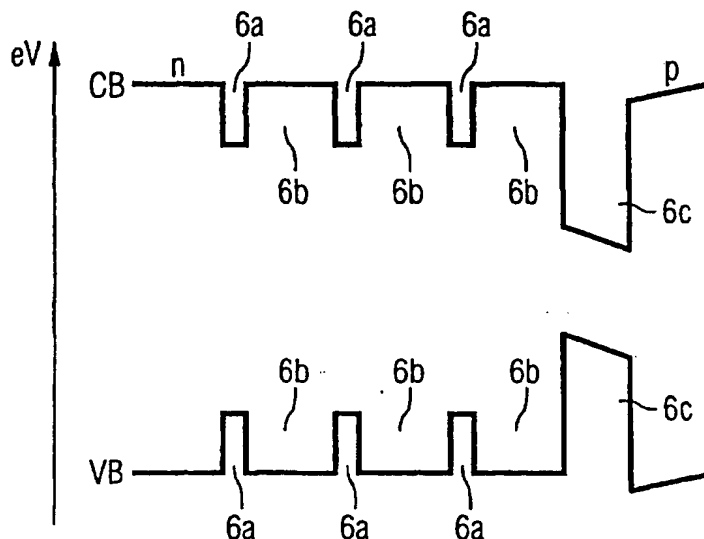
(81) Bestimmungsstaaten (national): CA, JP, KR, US.

(84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT,
BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC,
NL, PT, SE, TR).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: OPTICAL SEMICONDUCTOR DEVICE COMPRISING A MULTIPLE QUANTUM WELL STRUCTURE

(54) Bezeichnung: OPTISCHE HALBLEITERVORRICHTUNG MIT MEHRFACH-QUANTENTOPF-STRUKTUR



(57) Abstract: The invention relates to an optical semiconductor device comprising a multiple quantum well structure, in which well layers and barrier layers consisting of different types of semiconductor layers are stacked alternately on top of one another. The invention is characterised in that the well layers (6a) have a first composition, based on a nitride semiconductor material with a first electron energy and the barrier layers (6b) have a second composition based on a nitride semiconductor material with a higher electron energy in relation to the first electron energy. An active radiative quantum well layer (6c) is located downstream of said layers in the epitaxial direction and the essentially non-radiative well layers (6a) positioned upstream, together with the barrier layers (6b) form a superlattice for said active quantum well layer.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 01/39282 A2



Veröffentlicht:

— Ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts.

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes, und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) **Zusammenfassung:** Optische Halbleitervorrichtung mit einer Mehrfach-Quantentopf-Struktur, in der Topfschichten und Barrierschichten aus verschiedenen Arten von Halbleiterschichten abwechselnd aufeinander geschichtet sind, wobei Topfschichten (6a) einer ersten Zusammensetzung auf der Basis eines Nitrid-Halbleitersmaterials mit einer ersten Elektronenenergie und Barrierschichten (6b) einer zweiten Zusammensetzung eines Nitrid-Halbleitersmaterials mit gegenüber der ersten Elektronenenergie höheren Elektronenenergie vorgesehen sind, denen in Aufwuchsrichtung gesehen eine strahlungsaktive Quantentopfschicht (6c) nachgeordnet ist, für die die vorgeordneten im Wesentlichen nicht strahlenden Topfschichten (6a) und die Barrierschichten (6b) ein Übergitter bilden.

Beschreibung

Optische Halbleitervorrichtung mit Mehrfach-Quantentopf-Struktur

5

Die Erfindung betrifft eine optische Halbleitervorrichtung mit Mehrfach-Quantentopf-Struktur, in der Topfschichten und Barrierschichten aus verschiedenen Arten von Halbleiterschichten abwechselnd geschichtet sind.

10

Eine derartige Vorrichtung ist beispielsweise aus der EP 0 666 624 B1 oder aus Journal of Crystal Growth 189/190 (1998) p. 786-789 bekannt.

15 Der hohe Quantenwirkungsgrad von Indium-Gallium-Nitrid-(InGaN-)-basierten LEDs und Laserdioden wird durch das selbstorganisierte Wachstum indiumreicher Inseln im aktiven Quantentrog oder Quantentopf verursacht. Dadurch werden die injizierten Ladungsträger räumlich an diesen Inseln lokalisiert und von nichtstrahlender Rekombination an Gitterdefekten abgehalten.

Die Nukleation dieser Quantenpunkte muß durch geeignete Pufferschichten eingeleitet werden. Insbesondere eignen sich indiumhaltige Strukturen vor der eigentlichen aktiven Zone als Pufferschicht. Indiumhaltige nitridische Halbleiter ($\text{Ga}_x\text{Al}_y\text{In}_{1-(x+y)}\text{N}$ -Halbleiter) neigen zur Entmischung und Bildung von indiumhaltigen Phasen. Dies führt an der Wachstumsoberfläche zu variierenden Spannungsfeldern, die die Bildung indiumreicher Inseln im aktiven Quantentrog begünstigt. Ca. 100 nm dicke GaInN-Schichten können vor der aktiven Zone abgeschieden werden, um die GaInN-Quantenpunkt-Nukleation zu verbessern.

Bisher kann ein optimaler Wirkungsgrad mit z. B. 2- bis 10-fach-Quantentopf-Strukturen erreicht werden. Wie experimentell gezeigt werden kann, werden die emittierten Photonen ausschließlich in den beiden obersten (d.h. der p-Seite nächsten) Quantentrögen erzeugt. Bei geeigneter Wahl der Wachstumsparameter wird erreicht, daß die Emission ausschließlich im obersten der Quantentöpfe erfolgt. Die unteren Quantentöpfe dienen zur Verbesserung der Nukleation der GaInN-Inseln im obersten Quantentopf. Wird auf sie verzichtet, so sinkt die optische Ausgangsleistung um über 50 % ab. Allerdings führen diese Quantentöpfe zu einer erheblichen Erhöhung der Flußspannung. Die Flußspannung kann durch Verringern der Topfanzahl auf Kosten der Quanteneffizienz verbessert werden. Die Piezofelder, die zur beobachteten Erhöhung der Flußspannung führen, können durch hohe Dotierniveaus im Quantentopfbereich kompensiert werden. Dadurch wird allerdings die Kristallqualität der aktiven Schicht gestört bzw. das Injektionsverhalten verschlechtert und so die interne Quanteneffizienz verringert.

20

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine optische Halbleitervorrichtung der eingangs genannten Art demgegenüber zu verbessern.

25 Diese Aufgabe löst die Erfindung mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1.

Erfindungsgemäß ist eine Mehrfach-Quantentopf-Struktur mit Topfschichten und Barrierschichten aus verschiedenen Arten von Halbleiterschichten, die abwechselnd aufeinander geschichtet sind, vorgesehen, in der die Topfschichten dünne Schichten einer ersten Zusammensetzung auf der Basis eines Nitrid-Halbleitermaterials mit einer ersten Elektronenenergie

und die Barriereschichten demgegenüber dickere Schichten einer zweiten Zusammensetzung eines Nitrid-Halbleitermaterials mit gegenüber der ersten Elektronenenergie höheren Elektronenenergie sind. Als strahlungsaktiver Quantentopf wirkt, in
5 Aufwachsrichtung gesehen, erst eine der letzten Quantentopfschichten oder die letzte Quantentopfschicht. Für diese bilden die vorgeordneten Topfschichten, die im Wesentlichen nicht strahlen, und die Barriereschichten ein Übergitter aus.

10 Bei einer besonders bevorzugten Weiterbildung sind im Übergitter die Topfschichten dünne Aluminium-Gallium-Indium-Nitrid-Schichten und die Barriereschichten demgegenüber dickere Gallium-Nitrid-Schichten und weist der aktive Quantentopf Indium-Gallium-Nitrid auf.

15

Bevorzugt nimmt innerhalb mindestens einer Topfschicht des Übergitters der In-Gehalt in Aufwachsrichtung, d. h. in Richtung zur strahlungsaktiven Quantentopfschicht hin, zu. Vorzugsweise liegt hierbei der Indium-Gehalt entfernt von der
20 strahlungsaktiven Quantentopfschicht unterhalb 5%.

Bei einer besonders bevorzugten Weiterbildung weist mindestens eine der Topfschichten des Übergitters mindestens ein Einzelschichtenpaar auf, von dem die in Aufwachsrichtung erste Einzelschicht einen geringeren Indium-Gehalt aufweist als
25 die in Aufwachsrichtung zweite Einzelschicht. Vorzugsweise weist diese Topfschicht eine Mehrzahl von Einzelschichten auf, deren Indium-Gehalt ausgehend von der am weitesten entfernt von der strahlungsaktiven Quantentopfschicht liegenden
30 Einzelschicht zur zu der strahlungsaktiven Quantentopfschicht nächstliegenden Einzelschicht hin stufenweise zunimmt. Die Stufen der Zunahme des Indium-Gehalts sind besonders bevorzugt kleiner 5%. Weiterhin besonders bevorzugt ist der In-

dium-Gehalt der am weitesten entfernt von der strahlungsaktiven Quantentopfschicht liegenden Einzelschicht kleiner als 5%. Vorteilhafterweise liegt die Dicke der Einzelschichten im Bereich weniger Monolagen besonders bevorzugt etwa eine Monolage.

Der besondere Vorteil der stufenweisen Zunahme des In-Gehalts besteht darin, daß ein Potentialverlauf entsteht, der einem Dreieckspotential ähnlich ist, insbesondere für den Fall, dass die Dicke der Einzelschichten die einer Monolage nicht wesentlich übersteigt. Folglich ist der Unterschied des Energieniveaus in den Barriereschichten und dem sich für ein Elektron ergebenden Energieniveau in der Topfschicht nicht größer als bei einer rechteckigen Topfschicht mit wesentlich geringerem Indium-Gehalt als die oberste Einzelschicht der gestuften Topfschicht. Dadurch wird erreicht, dass die Vorteile eines reduzierten Gesamt-Indium-Gehalts beibehalten werden, aber gleichzeitig durch den hohen Indium-Gehalt der letzten Einzelschicht die Verspannung so beeinflusst wird, dass die Nukleation von InGa_N-reichen Phasen verbessert und somit die Quanteneffizienz gesteigert wird.

Ein weiterer Vorteil ergibt sich aus folgendem: Das epitaktische Wachstum von Indium-haltigen III-V-Halbleitern (z. B. InGaAs, InGa_N) wird durch den relativ großen Atomradius des Indiums erschwert. Bei konstanten Flüssen der Gruppe III-Komponenten baut sich Indium daher verzögert ein. Die Indium-Konzentration steigt während des Wachstums an und nähert sich exponentiell einem Gleichgewichtswert an. Während der Anreicherungsphase bildet sich auf der Wachstumsoberfläche eine bestimmte Indium-Bedeckung. Erst wenn diese Bedeckung erreicht ist, wird gleichbleibend viel Indium in den Kristall eingebaut. Wird allerdings zu viel Indium angeboten, formt das auf

der Oberfläche vorhandene Indium metallische Tröpfchen, die die Qualität der abgeschiedenen Schichten vermindern. Vor allem aber erzeugen solche Indium-Tröpfchen am p-n-Übergang Nebenschlüsse, die neben der Quanteneffizienz auch die Stabilität gegenüber elektrostatischer Entladung (ESD) vermindern. Diese Effekte werden dadurch vermindert, daß zunächst Indiumhaltige Schichten mit geringem Indium-Gehalt, bevorzugt weniger als 5%, abgeschieden werden, um dann bei darauffolgenden Schichten den Indiumgehalt zu steigern. Bei der aktiven Schicht selbst ist der Unterbau durch die Topfschichten dann schon derart vorbereitet, dass InGaN-Zusammensetzungen mit höherem Indium-Gehalt abgeschieden werden können.

Die Nukleation von Indium-reichen Phasen wird durch den sich erhöhenden Indium-Gehalt in der oder den Topfschichten vorteilhafterweise verbessert. Die schädliche Ausbildung von Indium-Tröpfchen wird zumindest erheblich vermindert.

Weitere vorteilhafte Weiterbildungen und Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand von Unteransprüchen.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand eines Ausführungsbeispiels mit Hilfe der Figuren der Zeichnung näher erläutert.

Es zeigen:

- Figur 1a,b eine schematische Darstellung des Schichtaufbaus einer Vorrichtung gemäß der Erfindung,
- Figur 2 eine schematische Darstellung der Quantentopfstruktur der Vorrichtung gemäß Figur 1,
- Figur 3 eine schematische Darstellung der Quantentopfstruktur üblicher Art, und

Figur 4 eine schematische Darstellung des Verlaufs des Leitungsbandes gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung.

5 Gemäß Figur 1a ist auf einem Substrat 1 aus Siliziumcarbid (SiC), an dem eine erste Kontakt-Elektrode 2 angeschlossen ist, zunächst eine Pufferschicht 3 aus Aluminium-Gallium-Nitrid (AlGa_{0.3}N_{0.7}) gebildet. Darüber schließt sich eine weitere Schicht 4 aus Aluminium-Gallium-Nitrid an. Über der Schicht 4
10 sind eine weitere Pufferschicht 5 aus Silizium-dotiertem Galliumnitrid und darüber ist die noch näher zu erläuternde Quantentopf-Struktur 6a,b angeordnet, an die die eigentliche aktive Schicht 6c anschließt. Über der aktiven Schicht 6 ist eine weitere Schicht 7 aus Aluminium-Gallium-Nitrid angeordnet,
15 net, die als Elektronenbarriere dient. Vorzugsweise ist diese Schicht 7 mit Magnesium dotiert. Zwischen den Schichten 6 und 7 kann eine weitere nicht gezeichnete GaN-Schicht angeordnet sein. Über der Schicht 7 ist eine Galliumnitrid-Schicht 8 angeordnet, auf der eine zweite Kontakt-Elektrode 9 der Vorrichtung
20 vorgesehen ist.

Die rechte Seite des Schichtaufbaus zeigt schematisch angedeutet die Bandlücke der einzelnen Schichten zwischen dem Valenz- und dem Leitungsband.

25

Funktionell dient die Pufferschicht 3 als Wachstumsschicht, die erforderlich ist, um auf dem Siliziumcarbid-Substrat 1 die LED-Struktur aufwachsen zu können. Die weitere Aluminium-Gallium-Nitrid-Schicht 4 zwischen den Schichten 3 und 5 hat
30 einen sich in Richtung der Gallium-Nitrid-Schicht 5 hin ändernden Aluminiumgehalt. Die Gallium-Nitrid-Schicht 5 ist vorzugsweise siliziumdotiert. Die über der aktiven Schicht 6

angeordnete Schicht 7 aus magnesisumdotiertem Aluminium-Gallium-Nitrid dient als Elektronenbarriere.

Dieser grundsätzlicher Aufbau der Figur 1a kann standardmäßig
5 für Gallium-Aluminium-Indium-Nitrid (LEDs) verwendet werden.

Figur 1b ist eine vergrößerte Darstellung der aktiven Schicht
6 gemäß der Erfindung. Die Schicht mit der Quantentopf-Struktur 6 ist aufgebaut, indem zwischen einzelnen Gallium-Nitrid-
10 (GaN-)Schichten 6b Schichten 6a aus Gallium-Indium-Nitrid (GaInN) angeordnet sind. Die eigentlich aktive, d.h. lichtabstrahlende Schicht 6c aus Gallium-Indium-Nitrid (GaInN) schließt sich an die oberste Gallium-Nitrid-Schicht 6b an.

15 Wie ersichtlich, wechseln sich unterschiedlich dicke Schichten 6a und 6b ab. Die dünneren Schichten 6a aus Indium-Gallium-Nitrid und die dickeren Schichten 6b aus Gallium-Nitrid bilden dabei Übergitter, bei denen die Töpfe 6a dünn sind, d. h. dünner als 3 nm und die Schichten 6b 3nm und darüber. Die
20 Herstellung der Schichten erfolgt durch Gasphasen- oder Molekularstrahlepitaxie. Dabei ist ein langsames Wachstum von 1-10 nm/min, bevorzugt 1-2nm/min, bei niedrigen Temperaturen um 700 C° vorgesehen.

25 Der Indiumgehalt liegt unter 24%, vorzugsweise jedoch unter 20 % und ist deshalb vorzugsweise gegenüber üblichen Indiumgehalten reduziert. Die in der Figur nur einmal gezeichneten Schichten 6a und 6b können mehrmals übereinander angeordnet sein, vorzugsweise wiederholt sich die Struktur x=3mal. An
30 die oberste Gallium-Nitrid-Schicht 6b schließt sich die eigentlich aktive, d. h. leuchtende Schicht 6c aus Indium-Gallium-Nitrid an.

Vorzugsweise kann vorgesehen sein, die Quantentopfstruktur 6a, 6b mit Silizium in der Konzentration 10^{17} bis 10^{18}cm^{-3} zu dotieren. Damit ergibt sich noch einmal eine deutliche Verbesserung im Vergleich zu einer undotierten Struktur.

5

Figur 2 zeigt die Energieverhältnisse für das Valenzband VB und das Leitungsband CB. In Ordinatendrichtung ist die Elektronenenergie aufgetragen, in Abszissenrichtung sind die Quantentöpfe mit einer Breite, die der Schichtdicke entsprechen, aufgetragen. An die oberste Gallium-Nitrid-Schicht 6b schließt sich die tatsächlich aktive Schicht 6c an.

10

Figur 3 zeigt demgegenüber das Valenzband mit dickeren Quantentöpfen aus Gallium-Indium-Nitrid als bei der Erfindung. Durch die Schrägen angedeutet, ist der Effekt der piezoelektrischen Felder, die sich durch die Verspannungen ergeben.

15

Durch die erfindungsgemäße Verwendung von GaInN/GaN-Übergittern mit dünnen Töpfen (bis ca. 2 nm Quantentopfbreite) bei einem Schichtaufbau gemäß Figur 1 und Quantentopf-Verhältnissen gemäß Figur 2 kann die Flußspannung deutlich gesenkt werden und dabei die hohe interne Quanteneffizienz der Indium-Gallium-Nitrid-basierten optischen Halbleitervorrichtung erhalten werden. Die sich sonst ausbildenden Piezofelder werden ganz vermieden oder wirken sich praktisch nicht mehr aus. Im Vergleich zu herkömmlichen Einfach-Quantentopf-Strukturen, bei denen vor dem aktiven Topf kein Gallium-Indium-Nitrid-Übergitter abgeschieden wird, zeigt der erfindungsgemäße Vorrichtungsaufbau einen verdoppelten Konversionswirkungsgrad.

20

25

30

Unter Übergitter versteht man allgemein eine insbesondere periodische Aufeinanderfolge von nur wenigen Atomlagen dicken Schichten. Das Übergitter wird vom aktiven Trog durch eine

GaN- oder AlGaN-Barriere getrennt ($>3\text{nm}$). Die Silizium-Dotierung der Quantentopfstruktur ist deutlich verbessert im Vergleich zur undotierten Struktur.

- 5 Im Vergleich mit bekannten Übergitterstrukturen hat der erfindungsgemäße Vorrichtungsaufbau eine um $>0,5\text{V}$ gesenkte Flußspannung.

- 10 Im Vergleich zu SQW(Single Quantum Well)-Strukturen, vor deren aktivem Quantentopf kein GaInN Übergitter abgeschieden wurden, konnte der Konversionswirkungsgrad verdoppelt werden.

- 15 Durch die Kombination von dünnen, auch indiumarmen, optisch inaktiven Quantentrögen („Pre-Wells“) mit einem aktiven Quantentopf 6c kann das Emissionsverhalten der bisher bekannten Mehrfach-Quantentopf-Strukturen erhalten und die Flußspannung gesenkt werden. Die dünnen GaInN-Quantentöpfe verbessern die Qualität des aktiven Quantentopfs, während durch die geringe Schichtdicke der „Pre-Wells“ und ihrem niedrigen Indiumgehalt 20 die Ausbildung von störenden Piezofeldern verringert wird. Die Flußspannung wird daher durch diese Nukleationsschicht gegenüber einer SQW-Struktur nicht erhöht.

- 25 Die Figur 4 zeigt den Verlauf des Leitungsbandes in einer InGaN-Topfschicht 6a zwischen zwei GaN-Barriereschichten, wobei die GaN-Topfschicht 6a aus insgesamt 4 Einzelschichten 60a bis 63a besteht. Der Indium-Gehalt nimmt ausgehend von der am weitesten entfernt von einer strahlungsaktiven Quantentopfschicht 6c liegenden Einzelschicht 60a zur zu der 30 strahlungsaktiven Quantentopfschicht 6c nächstliegenden Einzelschicht 63a hin stufenweise zu. Die Stufen der Zunahme des Indium-Gehalts sind kleiner 5% und der Indium-Gehalt der am weitesten entfernt von der strahlungsaktiven Quantentopf-

schicht 6c liegenden Einzelschicht 60a ist kleiner als 5%. Die Schichtdicke jeder der Einzelschichten 60a bis 63a liegt im Bereich weniger Monolagen oder entspricht etwa einer Monolage der Zusammensetzung.

5

Dadurch entsteht ein Potentialverlauf, der einem Dreieckspotential ähnlich ist. Folglich ist der Unterschied des Energieniveaus in den Barriereschichten und dem sich für ein Elektron ergebenden Energieniveau in der gestuften Topf-

10 schicht nicht größer als bei einer rechteckigen Topfschicht (in der Figur auf der rechten Seite dargestellt) mit wesentlich geringerem Indium-Gehalt als die oberste Einzelschicht der gestuften Topfschicht. Dadurch wird erreicht, dass die Vorteile eines reduzierten Gesamt-Indium-Gehalts beibehalten
15 werden, aber gleichzeitig durch den hohen Indium-Gehalt der letzten Einzelschicht die Verspannung so beeinflusst wird, dass die Nukleation von InGaN-reichen Phasen verbessert und somit die Quanteneffizienz gesteigert wird.

20 Die Beschreibung der Erfindung anhand des obigen Ausführungsbeispiels ist selbstverständlich nicht als Beschränkung der Erfindung hierauf zu verstehen. Die Erfindung bezieht sich vielmehr auch auf Vorrichtungen in anderen Materialsysteme, in denen gleichgelagerte Probleme zu lösen sind.

Patentansprüche

1. Optische Halbleitervorrichtung mit einer Mehrfach-Quantentopf-Struktur, in der Topfschichten und Barriereschichten
5 aus verschiedenen Arten von Halbleiterschichten abwechselnd aufeinander geschichtet sind, wobei
Topfschichten (6a) einer ersten Zusammensetzung auf der Basis eines Nitrid-Halbleitermaterials mit einer ersten Elektronenenergie und Barriereschichten (6b) einer zweiten Zusammen-
10 setzung eines Nitrid-Halbleitermaterials mit gegenüber der ersten Elektronenenergie höheren Elektronenenergie vorgesehen sind, denen in Aufwachsrichtung gesehen eine strahlungsaktive Quantentopfschicht (6c) nachgeordnet ist, für den die vorgeordneten im Wesentlichen nicht strahlenden Topfschichten (6a)
15 und die Barriereschichten (6b) ein Übergitter bilden.
2. Optische Halbleitervorrichtung nach Patentanspruch 1, bei der die Topfschichten (6a) dünne Aluminium-Indium-Gallium-Nitrid-Schichten und die Barriereschichten (6b) demgegenüber
20 dickere Gallium-Nitrid- oder Aluminium-Gallium-Nitrid-Schichten sind und der strahlungsaktive Quantentopf (6c) eine Indium-Gallium-Nitrid-Schicht ist.
3. Optische Halbleitervorrichtung nach Patentanspruch 1 oder
25 2, bei der sich der strahlungsaktive Quantentopf (6c) an die oberste Barriereschicht (6b) anschließt.
4. Optische Halbleitervorrichtung nach einem der Patentansprüche 1 bis 3, bei der die Schichtdicke des strahlungsaktiven Quantentopfs (6c) größer ist als die Schichtdicke der
30 Topfschichten (6a) des Übergitters.

5. Optische Halbleitervorrichtung nach einem der Patentansprüche 1 bis 4, bei der die Topfschichten (6a) dünner als 2nm sind und die Barrierschichten (6b) 3nm-dick oder dicker sind.
- 5 6. Optische Halbleitervorrichtung nach einem der Patentansprüche 2 bis 5, bei der die Topf- und Barrierschichten (6a, 6b) mit Silizium dotiert sind.
- 10 7. Optische Halbleitervorrichtung nach Patentanspruch 6, bei der die Dotierstoffkonzentration von 10^{17} bis 10^{18}cm^{-3} ist.
8. Optische Halbleitervorrichtung nach einem der Patentansprüche 1 bis 7, bei der innerhalb mindestens einer Topfschicht (6a) des Übergitters der In-Gehalt in Aufwuchsrichtung, d. h. in Richtung zur strahlungsaktiven Quantentopfschicht (6c) hin, zunimmt.
- 15 9. Optische Halbleitervorrichtung nach Anspruch 8, bei der in der Topfschicht (6a) der Indium-Gehalt entfernt von der strahlungsaktiven Quantentopfschicht unterhalb 5% liegt.
- 20 10. Optische Halbleitervorrichtung nach einem der Patentansprüche 1 bis 7, bei der mindestens eine der Topfschichten (6a) des Übergitters mindestens ein Einzelschichtenpaar (60a, 61a) aufweist, von dem die in Aufwuchsrichtung erste Einzelschicht (60a) einen geringeren Indium-Gehalt aufweist als die in Aufwuchsrichtung zweite Einzelschicht (61a).
- 25 11. Optische Halbleitervorrichtung nach Anspruch 10, bei der die zweite Einzelschicht (61a) einen um weniger als 5% höheren Indium-Gehalt aufweist als die erste Einzelschicht (60a).
- 30

12. Optische Halbleitervorrichtung nach Anspruch 10 oder 11, bei der die Topfschicht eine Mehrzahl von Einzelschichten (60a,61a,62a,63a) aufweist, deren Indium-Gehalt ausgehend von der am weitesten entfernt von der strahlungsaktiven Quantentopfschicht (6c) liegenden Einzelschicht (60a) zur zu der strahlungsaktiven Quantentopfschicht (6c) nächstliegenden Einzelschicht (63a) hin stufenweise zunimmt.
13. Optische Halbleitervorrichtung nach Anspruch 12, bei der die Stufen der Zunahme des Indiumgehalts kleiner 5% sind.
14. Optische Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 13, bei der der Indium-Gehalt der am weitesten entfernt von der strahlungsaktiven Quantentopfschicht (6c) liegenden Einzelschicht (60a) kleiner als 5% ist.
15. Optische Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 14, bei der die Dicke jeder der Einzelschichten (60a,61a,62a,63a) im Bereich weniger Monolagen liegt oder etwa einer Monolage entspricht.

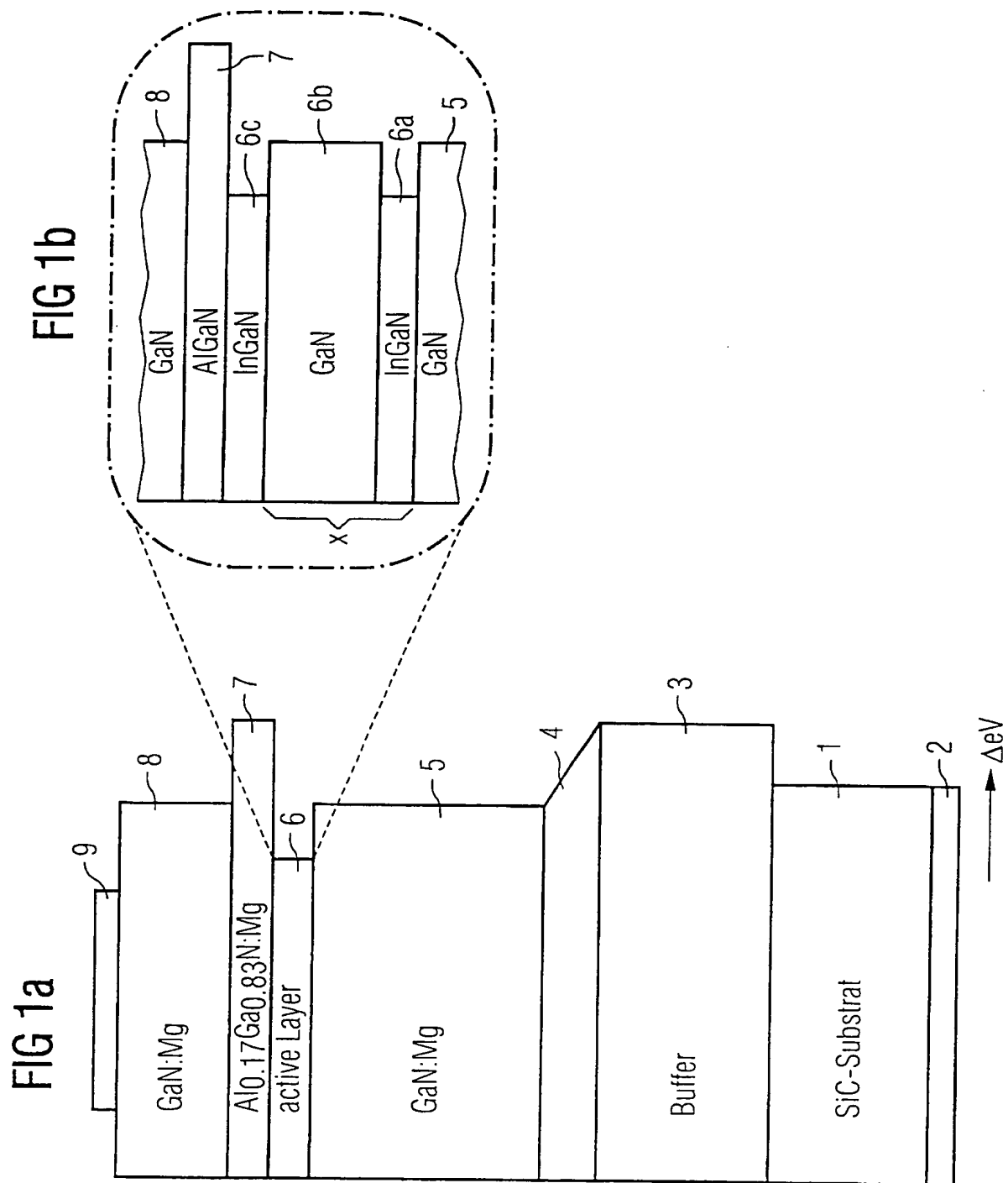


FIG 2

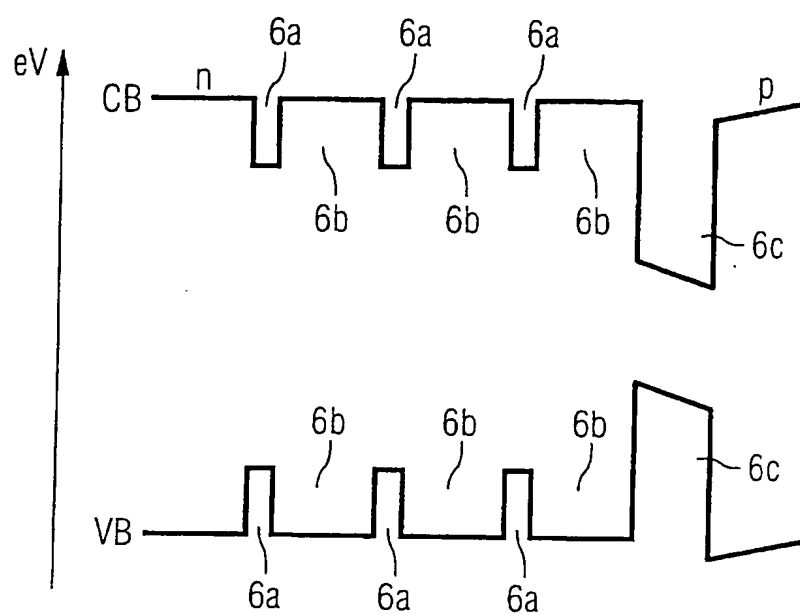


FIG 3

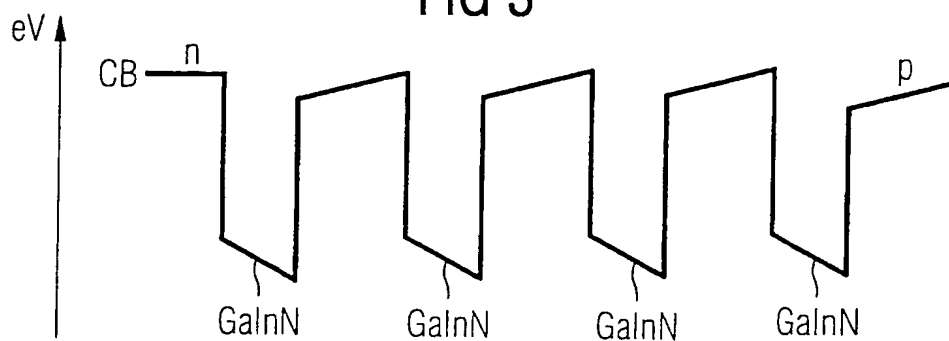


FIG 4

